

## Longitudinal swirl generating roughening elements

**Patent number:** DE19526917  
**Publication date:** 1997-01-23  
**Inventor:** FIEBIG MARTIN PROF DR (DE); MITRA NIMA KUMAR  
PROF DR (DE); NEUMANN HOLGER DIPL ING (DE);  
EICHHOLZ ARMIN DIPL ING (DE); BERGMANN JENS  
DIPL ING (DE); BRAUN HARALD DIPL ING (DE)  
**Applicant:** FIEBIG MARTIN PROF DR ING (DE)  
**Classification:**  
**- international:** *F01D5/18; F28F3/02; F28F13/12; F01D5/18; F28F3/00;*  
*F28F13/00; (IPC1-7): F01D5/18; F28F3/02; F28F13/08*  
**- european:** F01D5/18G; F28F3/02; F28F13/12  
**Application number:** DE19951026917 19950722  
**Priority number(s):** DE19951026917 19950722

[Report a data error here](#)

### Abstract of **DE19526917**

The convection plates are placed over their length preferable normal to the heat transfer surface, have an installation angle  $\beta$  of between 30 and 65 degrees to the flow. The plates have a percentage height  $e/H$  of 2 to 5 per cent with regard to the distance to the opposite wall. The plates have preferably the smallest possible thickness  $\delta$  which can correspond at most to the size of the plate height ( $e$ ). A spacing interval ( $L_p$ ) is included that is between five and fifteen times the height of the plate, and a length ( $l$ ) which is three to six times the height, and at right angles to the flow have a constant distance between the individual winglets located to diverge in the direction of flow.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**  
**DE 195 26 917 A 1**

⑥1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**F 01 D 5/18**  
F 28 F 3/02  
F 28 F 13/08

②1 Aktenzeichen: 195 26 917.9  
②2 Anmeldetag: 22. 7. 95  
④3 Offenlegungstag: 23. 1. 97

DE 195 26 917 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fiebig, Martin, Prof. Dr.-Ing., 44795 Bochum, DE

⑦2 Erfinder:  
Fiebig, Martin, Prof. Dr., 44795 Bochum, DE; Mitra,  
Nima Kumar, Prof. Dr., 44801 Bochum, DE;  
Neumann, Holger, Dipl.-Ing., 58332 Schwelm, DE;  
Eichholz, Armin, Dipl.-Ing., 45527 Hattingen, DE;  
Bergmann, Jens, Dipl.-Ing., 45527 Hattingen, DE;  
Braun, Harald, Dipl.-Ing., 45131 Essen, DE

⑤4 Längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente

⑤7 Die Erfindung beinhaltet Formen und Anordnung von längswirbelerzeugenden Rauigkeitselementen zur Wärmeübergangserhöhung an Wärmeübertragungsflächen bei turbulenten Strömungen, wobei die Wirbelachsen im wesentlichen in Hauptströmungsrichtung ausgerichtet sind, die Längswirbel die viskose Unterschicht aufreißen und deren Turbulenzgrad erhöhen und dadurch den konvektiven Anteil der Wärmeübertragung in der viskosen Unterschicht erhöhen, die erzeugte Rotation der Strömung senkrecht zur Hauptströmungsrichtung laufend wandnahe warmes bzw. kaltes Fluid durch wandfernes kaltes bzw. warmes Fluid ersetzt und eine wesentliche Steigerung des Wärmeüberganges bei relativ geringem Anstieg der Druck- und/oder Strömungsverluste bewirken.  
Technische Anwendungen sind Kühlungskanäle von Turbinenschaufeln und Wärmeübertragungsflächen, bei denen turbulente Strömungen zur Wärmeübertragung eingesetzt werden, wie Platten-, Rippenrohrwärmetauscher, Kondensatoren, Regeneratoren, Verbrennungsluftvorwärmung im Ringspalt eines Gasbrenners und Kühlung nuklearer Brennelemente.

DE 195 26 917 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steigern des Wärmeüberganges in einer turbulenten Strömung zwischen einer Wand und einem Wärmeträgerfluid, das an der Wand entlangströmt, wobei die Konvektion im wandnahen Bereich durch Erhöhung des Turbulenzgrades und durch Austausch von wandnahe Fluid durch Fluid im Kernbereich der Strömung mittels induzierter Längswirbel erhöht wird. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Durchführen dieses Verfahrens.

Der Wärmeübergang im wandnahe Bereich turbulenter Strömungen beruht im wesentlichen auf den Transportmechanismen der molekularen Diffusion, also der Wärmeleitung, welche von den Stoffeigenschaften abhängt, und der turbulenten Konvektion, also der Verwirbelung, welche vom Turbulenzgrad abhängt. Häufiges Ziel von Strömungsmanipulationen durch Einbauten ist es, den Wärmeübergangskoeffizienten zu erhöhen, um dadurch bestimmte Fluid- und/oder Materialtemperaturen zu erreichen. Hierbei ist zu beachten, daß sämtliche Strömungsmanipulationen durch Einbauten auch die Strömungsverluste bzw. die notwendige Pumpleistung erhöhen. Das Ziel besteht also in der optimalen Gestaltung der Einbauten, die bei gegebener Wärmeabfuhr einen möglichst kleinen Druckverlust erzeugen und damit die notwendige Pumpleistung minimieren.

Aufgrund der starken Quervermischung im Kernbereich einer turbulenten Strömung, liegt der thermische Widerstand in erster Linie in der viskosen Unterschicht der Strömung. Wärmeübergangssteigernde Einbauten sollten also geringfügig höher sein, als die viskose Unterschicht dick ist, um eine Vermischung zwischen der Kernströmung und der viskosen Unterschicht zu bewirken. Die Dicke der viskosen Unterschicht kann in einer hydrodynamisch vollentwickelten turbulenten Strömung mit einem Wert kleiner fünf, gebildet aus dem Produkt des Wandabstandes mit dem Kehrwert der kinematischen Viskosität und mit der Wurzel aus der Wandschubspannung dividiert durch die Dichte, angegeben werden. Bei Einbauten mit bis zu einer geringfügig größeren Höhe als der Dicke der viskosen Unterschicht spricht man auch von Rauigkeitselementen. Neben homogener Rauigkeit, wie der Sandrauigkeit, gibt es die strukturierte oder auch diskrete Rauigkeit.

Die Erfindung stellt demnach eine strukturierte Rauigkeitsform dar, bei der die Rauigkeitselemente durch Anbringen, Ausprägen oder Ausstanzen an der wärmeübertragenden Wand positioniert werden.

Die Erfindung nach den Ansprüchen 1—5 hat dementsprechend die Aufgabe durch Turbulenzanregung in der viskosen Unterschicht und durch Längswirbel, welche in die Strömung induziert werden und wandnahe Fluid aus der viskosen Unterschicht mit wandfernen Fluid aus dem Kernbereich der turbulenten Strömung austauschen, den Wärmeübergang zu erhöhen. Untersuchungen haben gezeigt, daß die induzierten Längswirbel im zeitlichen Mittel sehr stabil sind und weit in die Kernströmung reichen. Die Längswirbel entstehen durch Ablösung der Strömung entlang der Seitenkante eines Rauigkeitselementes, hervorgerufen durch die Druckdifferenz zwischen Druck- und Saugseite des Rauigkeitselementes. Aufgrund der Schräganstellung des Rauigkeitselementes zur Strömung bildet sich ein Längswirbel aus, das heißt, daß die Wirbelachse näherungsweise in Strömungsrichtung weist.

Bei einer Anstellung des Wirbelerzeugers quer zur

Strömung, also mit einem Anstellwinkel von 90° würde sich ein Querwirbel bilden, bei dem die Wirbelachse quer zur Hauptströmungsrichtung verläuft.

Aufgrund der Schräganstellung der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente zur Hauptströmungsrichtung, ihrer geringen Höhe und der Verwendung vorzugsweise möglichst dünner Platten, ergibt sich nur eine sehr kleine Staudruckfläche, so daß die Strömungsverluste durch die Verminderung des Formwiderstandes im Vergleich zu Querrippen wesentlich kleiner sind. Weiterhin werden aufgrund der Längswirbel die Rückströmgebiete und damit die Strömungsverluste im Vergleich zu Querwirbeln wesentlich reduziert. Untersuchungen haben gezeigt, daß die Längswirbelerzeuger bei konstantem Volumenstrom nicht nur einen geringeren Druckverlust, sondern auch einen höheren Wärmeübergang gegenüber Querrippen erzielen.

Bekannt sind Längswirbelerzeuger in Rechteckform (EP 0 530 721), die allerdings aufgrund ihrer Größe von 0,5—0,6 des Abstandes zwischen der wärmeübertragenden Wand und der Gegenfläche für den Einsatz in turbulenten Strömungen ungeeignet sind, da das Verhältnis von Wärmeübergang zu Strömungsverlust gegenüber längswirbelerzeugenden Rauigkeiten wesentlich kleiner ist. Weiterhin sind diese Längswirbelerzeuger im Vergleich zu den hier angesprochenen bezogen auf ihre Höhe e kürzer. Bei diesen Wirbelerzeugern zeigt sich, daß sie eine besonders hohe Steigerung des Wärmeüberganges an der gegenüberliegenden Wand bewirken.

Die Erfindung weist demgegenüber folgende erfindungswesentliche Unterschiede auf:

Die Wirbelerzeuger besitzen eine Höhe von bis zu 5% des Wandabstandes der gegenüberliegenden Wände und verursachen dementsprechend wesentlich geringere Strömungsverluste als die Wirbelerzeuger nach EP 0 530 721.

Erst ab einer Höhe der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente von 5% des Wandabstandes der gegenüberliegenden Wände zeigt sich ein wärmeübergangssteigernder Einfluß an der gegenüberliegenden Wand. Der wärmeübergangssteigernde Einfluß findet jedoch selbst dann immer noch primär an der Wand statt, an der die Wirbelerzeuger befestigt sind.

Während die Ausdehnung der Wirbel bei den Wirbelerzeugern nach EP 0 530 721 durch die gegenüberliegenden Wände begrenzt wurde, können sich die Wirbel der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente ausdehnen ohne durch Reibung an der gegenüberliegenden Wand zu dissipieren.

Durch ihre größere Streckung verursachen sie bezogen auf die Höhe der Rauigkeitselemente einen stärkeren Wirbel als die Wirbelerzeuger nach EP 0 530 721.

Während die Wirbelerzeuger nach EP 0 530 721 in erster Linie in laminaren Strömungen eingesetzt werden, den Turbulenzgrad nicht erhöhen sollen und der wärmeübergangssteigernde Mechanismus auf die Umlenkung der Strömung mit einer resultierenden Spülungswirkung an der wärmeübertragenden Wand beruht, werden die längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente der Erfindung in turbulenten Strömungen eingesetzt, wobei die wärmeübertragenden Mechanismen auf eine Erhöhung des Turbulenzgrades in der wandnahen viskosen Unterschicht und eines Fluidaustausches von Kernströmung und wandnahe Strömung in der viskosen Unterschicht durch Längswirbel beruhen.

Weiterhin sind Tütenwirbelgeneratoren nach DE-OS 37 39 619 bekannt, die ebenfalls im Vergleich zu der

Erfindung relativ groß gegenüber den Wandabständen sind. Für diese Tübenwirbelgeneratoren gilt prinzipiell das gleiche wie für die Längswirbelerzeuger nach EP 0 530 721.

Längswirbelerzeuger für ein Wärmeaustauscherrohr nach DE 37 37 217 besitzen eine saugseitige Ausstanzung, die sich im Vergleich zu einer druckseitigen Ausstanzung nach eigenen Untersuchungen als weniger effektiv erwiesen hat. Die Erfindung weist demnach im Falle einer Ausstanzung und Umbiegung der Längswirbelerzeuger für eine normale Ausrichtung zur wärmeübertragenden Oberfläche gemäß Anspruch 1 bis 3 eine druckseitige Ausstanzung auf. Weiterhin besitzen die Längswirbelerzeuger für ein Wärmeaustauscherrohr nach DE 37 37 217 eine Höhe die gleich dem Rippenabstand, also dem Abstand der gegenüberliegenden Wände ist, so daß hier noch verstärkt das gleiche wie für die Längswirbelerzeuger nach EP 0 530 721 gilt. Ein weiterer erfindungswesentlicher Unterschied der Erfindung zu Längswirbelerzeugern für ein Wärmeaustauscherrohr nach DE 37 37 217 besteht in der Anordnung. Während die Längswirbelerzeuger nach DE 37 37 217 als einzelne Wirbelerzeuger zu betrachten sind, die gleichgerichtet auf der wärmeübertragenden Oberfläche aufgebracht sind und somit gleichsinnig rotierende Längswirbel erzeugen, beruht die Erfindung gemäß der Ansprüche 1 bis 5 auf eine periodische Anordnung, die durch die in Strömungsrichtung divergierende Anstellung der einzelnen Wirbelerzeuger innerhalb einer Periode ein gegensinnig rotierendes Wirbelpaar in die viskose Unterschicht induzieren, deren gemeinsames zur Wand gerichtetes Strömungsfeld in der Mitte einer Periode zu einer starken Erhöhung der Wärmeübertragung führen, wie sie bei einzelnen Wirbelerzeugern nicht auftreten.

Einsatzgebiete der Erfindung finden sich zum Beispiel in den Kühlungskanälen von Gasturbinenschaufeln bei Konvektionskühlung. Meist werden hier durchgehende Rippen mit näherungsweise quadratischem Querschnitt eingesetzt. Abb. 6 zeigt eine Turbinenschaufel nach DE 32 48 163, wobei die 90°-Auslöserippen durch längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente ersetzt wurden. Hierdurch kann eine wesentliche Verbesserung im zweiten und dritten Kühldurchlaß anstelle der dort vorgesehenen 90°-Auslöserippen hinsichtlich Wärmeübergang und Druckverlust erzielt werden.

Da die Rippen in Turbinenschaufeln gegossen werden, können spezielle Querschnittsformen entsprechend Anspruch 5 entstehen. Die gegossenen Längswirbelerzeuger sollten vorzugsweise sehr dünn sein, bzw. ihre Dicke  $\delta$  sollte nicht größer als die Höhe  $e$  entsprechend Anspruch 1 sein. Durch die Erfindung kann bei gleichem Druckverlust die Wärmeübertragung gesteigert werden und somit die Schaufeltemperatur gegenüber der Kühlung durch die herkömmlich eingesetzten 90°-Auslöserippen gesenkt werden.

Weitere Einsatzgebiete der Erfindung finden sich in Platten- und Rippenrohrwärmetauschern, Regeneratoren und in Kondensatoren bei denen turbulente Strömungen auftreten.

Neben den Einsatz der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente in Kanälen, können sie auch in Ringspalten eingesetzt werden. Als Beispiel sei hier die Verbrennungsluftvorwärmung in Gasbrennern genannt, wo die Verbrennungsluft durch einen Ringspalt strömt bevor sie sich mit dem Brennstoff vermischt.

Schließlich sei noch die Kühlung nuklearer Brennelemente in Form einer turbulenten Ringspaltströmung er-

wähnt. Auch hier werden meist 90°-Rippen zur Kühlung verwendet. Die Erfindung kann hier bei gleichem Druckverlust eine höhere Wärmeübertragung erzielen.

Die wesentlichen Merkmale der Erfindung finden sich in den Abb. 1 bis 5 wieder. Abb. 6 stellt ein konkretes Anwendungsbeispiel dar:

Abb. 1: Längswirbelerzeugende Rauigkeiten nach Anspruch 1 in periodischer Anordnung mit Periodenbreite  $B_p$  und Periodenlänge  $L_p$  bei zweiseitiger Belegung. Da diese Rauigkeitselemente kaum einen Einfluß auf die gegenüberliegende Wand haben, ist auch eine einseitige Belegung sinnvoll, sofern die Wärme nur an einer bzw. von einer Wand abgegeben wird.

Abb. 2: Perspektivische Ansicht einer Periode der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente nach Anspruch 1,

Abb. 3: Perspektivische Ansicht einer Periode der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente nach Anspruch 2,

Abb. 4: Perspektivische Ansicht einer Periode der längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente nach Anspruch 4,

Abb. 5: Unterschiedliche Querschnittsformen für die längswirbelerzeugenden Rauigkeitselemente nach Anspruch 1 und 5 mit:

- 1 rechteckige Querschnittsform
- 2 dreieckige Querschnittsform
- 3 sinusförmige Querschnittsform
- 4 halbrunde Querschnittsform
- 5 Querschnittsform mit abgerundeten Kanten entsprechend auch Anspruch 3,

Abb. 6: Ansicht einer Laufschaufel einer Gasturbine entsprechend Fig. 1 des Patent DE 32 48 163 mit längswirbelerzeugenden Rauigkeiten (1) im zweiten und dritten Kühldurchlaß anstelle der dort vorgesehenen 90°-Rippen.

#### Patentansprüche

1. Längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente als schräg zur Strömungsrichtung, sägezahnförmig unterbrochene, periodisch angeordnete, rechteckige Platten für natürliche und/oder erzwungene Konvektion, dadurch ausgezeichnet, daß die Platten auf ihrer Länge vorzugsweise normal auf die Wärmeübertragungsfläche aufgebracht bzw. normal zu ihr geprägt oder druckseitig ausgestanzt und umgebogen wurden, einen Anstellwinkel  $\beta$  zur Strömung zwischen 30° und 65° besitzen, eine prozentuale Höhe  $e/H$  von 2% bis 5% bezogen auf den Abstand zur gegenüberliegenden Wand haben, eine vorzugsweise möglichst geringe Dicke  $\delta$  haben, die maximal der Größe der Plattenhöhe  $e$  entsprechen kann, einen Periodenabstand  $L_p$  zwischen der 5- bis 15fachen Höhe der Platten  $e$  haben, eine 3- bis 6fache Länge  $l$  der Höhe der Platten  $e$  haben und quer zur Strömungsrichtung einen gleichbleibenden Abstand  $s$  zwischen den einzelnen in Strömungsrichtung divergierend angeordneten Winglets haben. (Abb. 1 und 2).
2. Längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente nach Anspruch 1, dadurch ausgezeichnet, daß sie abweichend zum Anspruch 1 keine rechteckige Form, sondern eine dreieckige haben, deren Gratkante in Strömungsrichtung ansteigt. (Abb. 3).
3. Längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente nach Anspruch 1 und 2, dadurch ausgezeichnet, daß

sie abweichend zum Anspruch 1 und 2 abgerundete bzw. abgeschrägte Anström- und/oder Ablösekan-  
ten haben.

4. Längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente  
nach Anspruch 1 und 2, dadurch ausgezeichnet, daß  
sie abweichend zu den Ansprüchen 1 und 2 quer zur  
Strömungsrichtung verbunden sind, so daß eine  
nicht unterbrochene sägezahnförmige Anordnung  
entsteht (Abb. 4).

5. Längswirbelerzeugende Rauigkeitselemente  
nach Anspruch 1, 2, 3 und 4, dadurch ausgezeichnet,  
daß sie abweichend zu den Abb. 1 bis 4 eine dreieck-  
kige, sinusförmige, halbrunde oder mit abgerunde-  
ten Kanten rechteckige Querschnittsform besitzen.  
(Abb. 5).

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

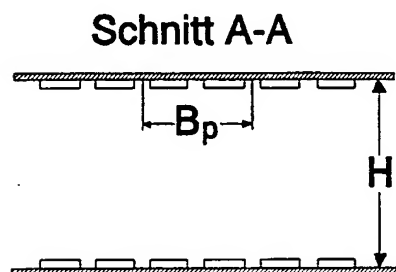
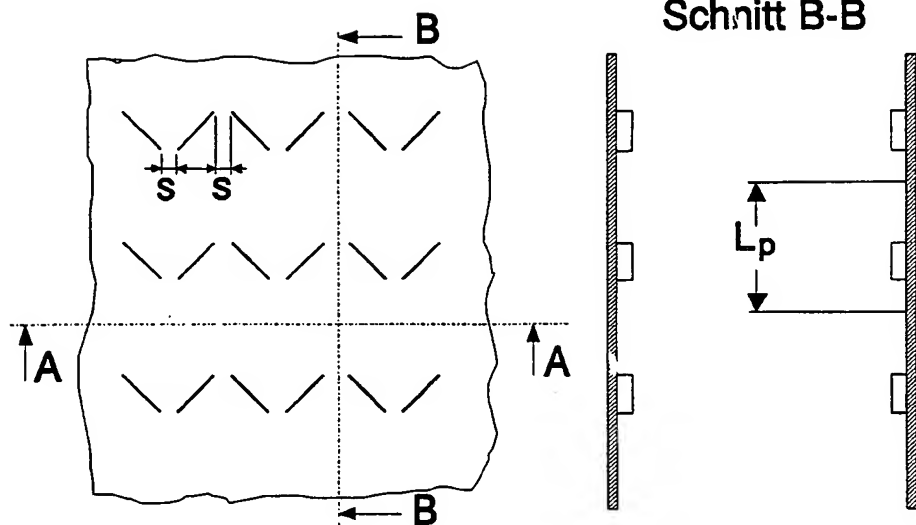


Abb. 1

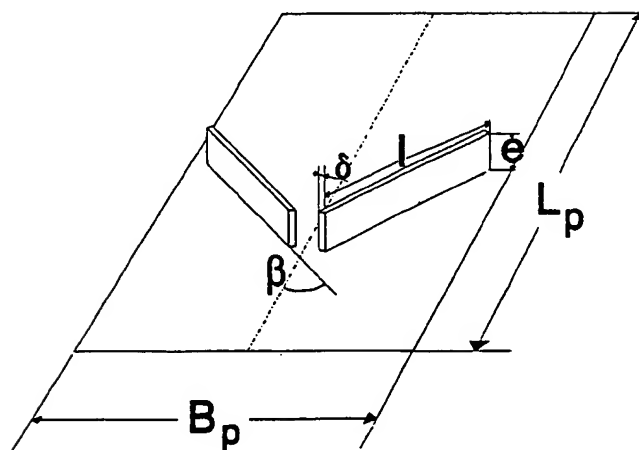


Abb. 2

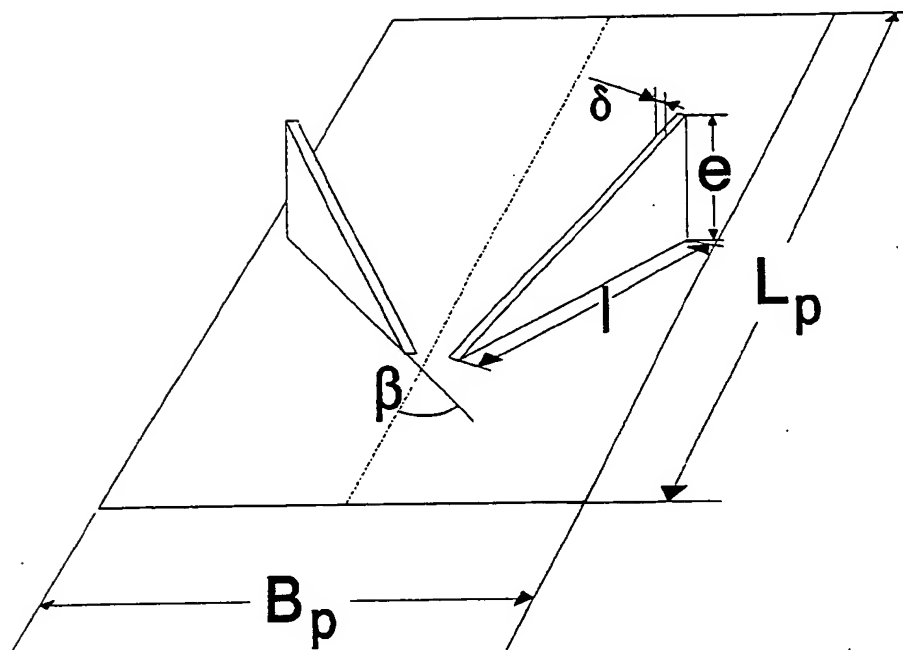


Abb. 3

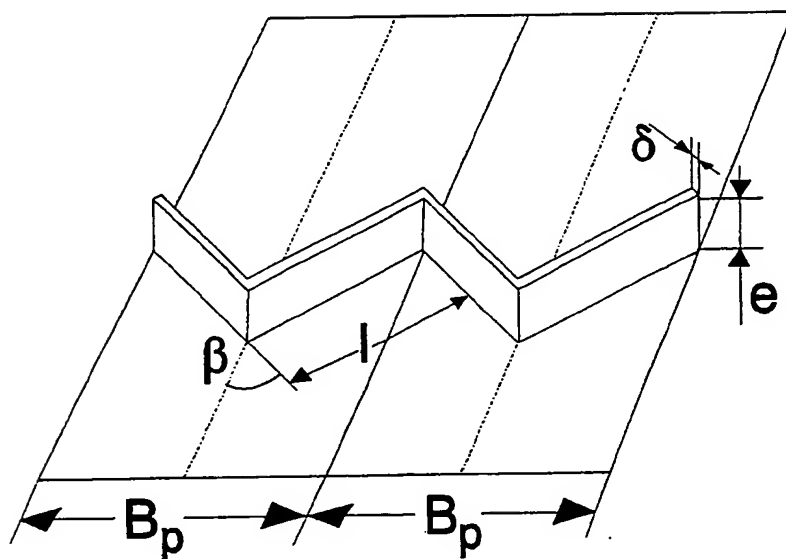


Abb. 4

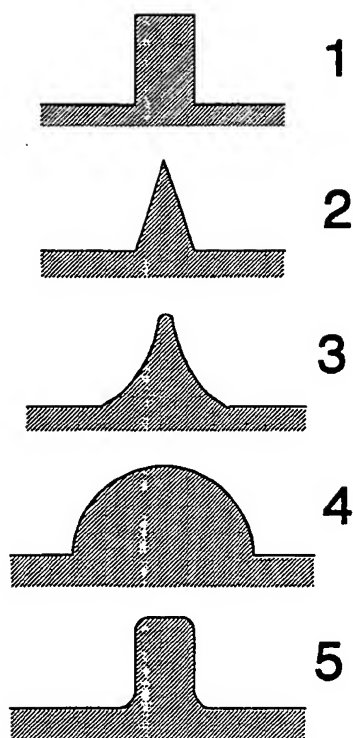


Abb. 5



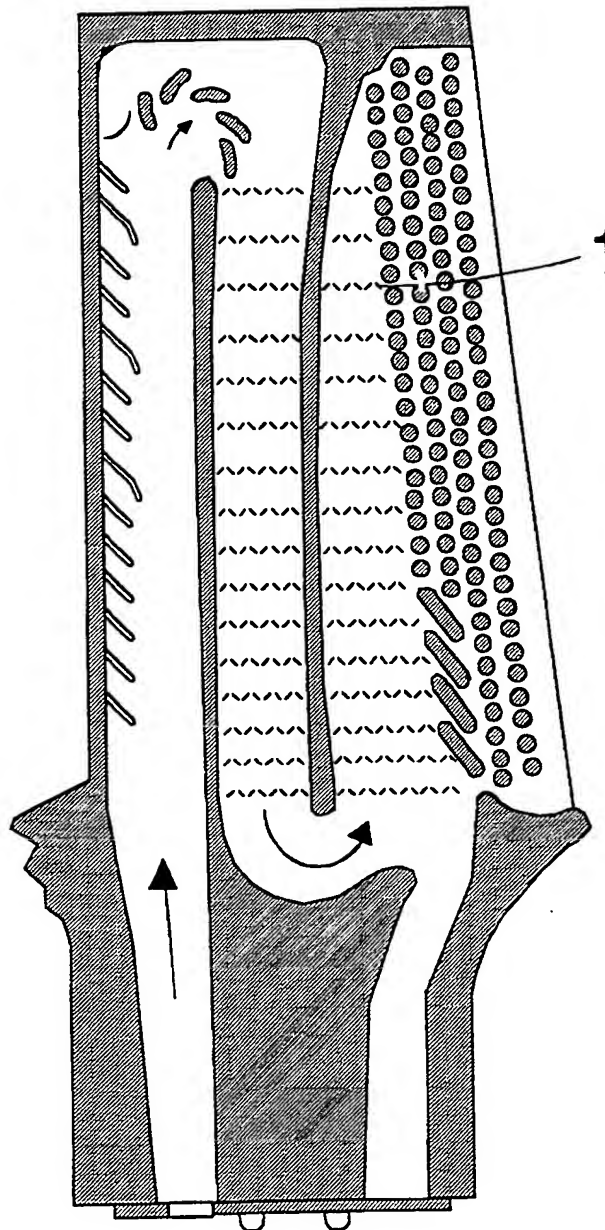


Abb. 6